

SINGLE CRYSTAL, ENVIRONMENTALLY-RESISTANT GAS TURBINE SHROUD

Patent Number: ☐ US5240518
Publication date: 1993-08-31
Inventor(s): LINKO III PETER J (US); PILSNER BRIAN H (US); WORTMAN DAVID J (US)
Applicant(s): GEN ELECTRIC (US)
Requested Patent: ☐ DE4126989
Application Number: US19900577668 19900905
Priority Number(s): US19900577668 19900905
IPC Classification: C22C19/05
EC Classification: C22C19/05P6, C30B11/00, F01D25/00C, F01D25/00D, F01D25/24
Equivalents: CA2048756, ☐ FR2666379, ☐ GB2249317, IT1251198, ☐ JP4280939

Abstract

A single crystal shroud, preferably used around the high pressure turbine section of a gas turbine engine, has a composition, in weight percent, of from about 5 to about 10 percent chromium, from about 5 to about 10 percent cobalt, from 0 to about 2 percent molybdenum, from about 3 to about 10 percent tungsten, from about 3 to about 8 percent tantalum, from 0 to about 2 percent titanium, from about 5 to about 7 percent aluminum, from 0 to about 6 percent rhenium, from 0 to about 0.50 percent hafnium, from 0 to about 0.07 percent carbon, from 0 to about 0.015 percent boron, and from 0 to about 0.075 percent yttrium, balance nickel. The environmentally- resistant shroud preferably is used in the as-cast condition without any oxidation and corrosion resistant flowpath coating.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(1)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 41 26 989 A 1

51 Int. Cl.⁵:
C 22 C 19/05
F 02 C 7/00
F 01 D 5/28
F 01 D 25/24

21 Aktenzeichen: P 41 26 989.6
22 Anmeldetag: 15. 8. 91
43 Offenlegungstag: 12. 3. 92

DE 41 26 989 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31
05.09.90 US 577668

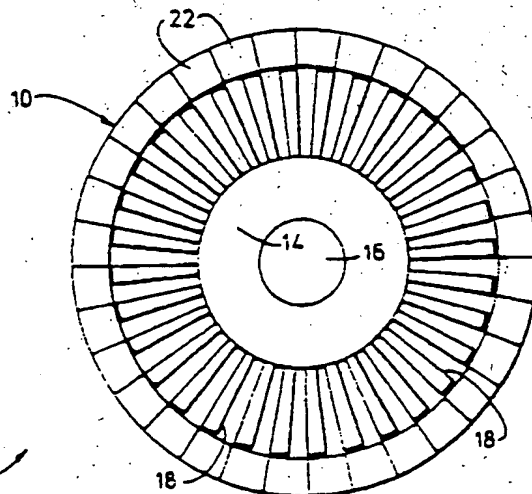
71 Anmelder:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

74 Vertreter:
Schüler, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6000
Frankfurt

72 Erfinder:
Wortman, David John, Hamilton, Ohio, US; Pilsner,
Brian Harvey; Linko III, Peter John, Cincinnati, Ohio,
US

54 Einkristalliner, gegenüber der Umgebung beständiger Gasturbinenmantel

57 Ein einkristalliner Mantel, der vorzugsweise um den Hochdruck-Turbinenabschnitt eines Gasturbinenriebwerkes herum benutzt wird, hat eine Zusammensetzung in Gewichts-% von etwa 5 bis etwa 10 Chrom, etwa 5 bis etwa 10 Kobalt, 0 bis etwa 2 Molybdän, etwa 3 bis etwa 10 Wolfram, etwa 3 bis etwa 8 Tantal, 0 bis etwa 2 Titan, etwa 5 bis etwa 7 Aluminium, 0 bis etwa 6 Rhenium, 0 bis etwa 0,5 Hafnium, 0 bis etwa 0,07 Kohlenstoff, 0 bis etwa 0,015 Bor, 0 bis etwa 0,075 Yttrium, Rest Nickel. Der gegenüber der Umgebung beständige Mantel wird vorzugsweise im gegossenen Zustand ohne irgendeinen gegenüber Oxidation und Korrosion beständigen Überzug auf dem Strömungspfad benutzt.



Re 2,75 ÷ 3,25 Gew.-%

W 4,75 ÷ 5,25 " "

W%Re 1,46 ÷ 1,91

Re 3 Gew.-% } Anspr. 19
W 5 " "

W%Re 1,66....

⇒ Trifft nicht

DE 41 26 989 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf Flugzeug-Gasturbinenkomponenten und mehr im besonderen auf die chemische Zusammensetzung und Be- bzw. Verarbeitung eines einkristallinen Gasturbinenmantels aus Superlegierung mit verbesserter Beständigkeit gegenüber der Umgebung, der ohne Überziehen des Strömungspfadcs eingesetzt werden kann.

Eines der Ziele des Entwurfs von Flugzeugtriebwerken besteht darin, Strahltriebwerke zu schaffen, die bei höheren Temperaturen arbeiten. Höhere Betriebstemperaturen ergeben entweder wirksamer arbeitende Triebwerke oder leistungsfähigere Triebwerke. Die Betriebstemperaturen werden allgemein durch die verschiedenen Teile, aus denen das Triebwerk besteht, begrenzt, von denen eines der Gasturbinenmantel ist.

In Flugzeug-Gasturbinen wird Luft in das vordere Ende des Triebwerkes gezogen und durch eine Reihe axialer Strömungskompressorstufen komprimiert. In den Luftstrom wird Brennstoff eingespritzt und die Mischung in einem Brenner verbrannt. Die ausgestoßenen Verbrennungsgase passieren Axialströmungs-Turbinenstufen hohen Druckes und Turbinenstufen geringen Druckes, in denen die Energie für die Rotation der Kompressorstufen gewonnen wird. Das Gas tritt danach aus dem rückwärtigen Teil des Triebwerkes aus.

Die Turbinenstufen sind als stationäre Leitbleche bzw. Schaufeln und rotierende Turbinenschaufeln ausgebildet, die auf einer Turbinenscheibe montiert sind. Die vorliegende Erfindung befaßt sich mit der Struktur des Triebwerkes in den Hochdruck-Turbinenstufen, die unmittelbar hinter den Brennern angeordnet sind und mit den vorderen Niederdruckstufen.

Die Hochdruck-Turbinenstufen schließen Hochdruck-Turbinenschaufeln ein, die auf zylindrischen Hochdruck-Turbinenscheiben fixiert sind, die um ihre zylindrischen Achsen rotieren. Die Schaufeln bewegen sich daher in einem Pfad längs des Umfanges eines Kreises. Bei einem etwas größeren Radius befindet sich eine stationäre Komponente, die als der Mantel bekannt ist. Der Mantel hat verschiedene Funktionen. Einmal definiert er die Außenseite des Strömungspfadcs der heißen Verbrennungsgase und wirkt zu einem gewissen Ausmaß als Dichtung um den Strömungspfad der heißen Gase herum. Dieser Mantel wird kontinuierlich den heißen Gasen ausgesetzt. Außerdem unterstützt der Mantel die Regelung der Gasdynamik des Gasströmungssystems und die Wirkung des Gasstromes auf die rotierenden Schaufeln. Drittens wirkt der Mantel als ein Behälter, um eine Außenbeschädigung für den Fall zu minimieren, daß eine Turbinenschaufel versagt. Ein Mantel, der im wesentlichen die gleiche Funktion ausfüllt, kann auch die vorderen Stufen der Niederdruck-Turbine einhüllen, die eine Niederdruck-Scheibe und Niederdruck-Turbinenschaufeln aufweist.

Der Mantel ist ein wesentlicher Teil der Betriebsstruktur des Gasturbinentriebwerkes, selbst wenn es stationär ist. Solche Mäntel werden aus Hochtemperatur-Legierungen, wie Superlegierungen auf Nickel- oder Kobaltbasis hergestellt. Die Mantel-Strömungspfade, die den inneren Durchmesser der Umhüllung umfassen, der die Turbinenschaufeln berühren kann und auf den die heißen Gase auftreffen, sind derzeit mit Oxidations- und Korrosions-beständigen Überzügen versehen, die die Lebensdauer dieser Strömungspfade in der Umgebung der heißen Verbrennungsgase verlängern. Eine typische gegenwärtige Konstruktion für einen solchen

Mantel ist eine Grundstruktur aus gekrümmten Segmenten, die in eine kreisförmige Halterille gleiten. Jedes Segment besteht aus einer Superlegierung, wie MarM-509 oder Hastelloy X mit einem Überzug aus MCrAlY, einem Aluminid oder einer Keramik, um die Superlegierung vor Oxidations- und Hitzekorrosions-Beschädigung zu schützen. Das Segment kann wahlweise Kühlöffnungen oder Löcher aufweisen. Die Bezeichnung "MCrAlY" gilt für eine Legierung aus Nickel, Kobalt oder Eisen oder einer Mischung davon; zu der Chrom, Aluminium und Yttrium hinzugegeben wurden, um Oxidations- und Hitzekorrosions-Beständigkeit zu erzielen. Der größte Teil der derzeitigen Mäntel benutzt (Ni,Co)CrAlY-Überzüge.

Während die existierenden Mantel-Ausführungsformen- und Materialien in einer annehmbaren Weise arbeiten, gibt es doch einen fortgesetzten Bedarf an verbesserten Mantelkonstruktionen, die bei höheren Temperaturen zu geringeren Herstellungskosten arbeiten. Diese verbesserte Mantelkonstruktion gestattet das Arbeiten der Triebwerke bei höheren Temperaturen, was entweder zu einer höheren Leistungsfähigkeit oder zur besseren Brennstoffausnutzung führt. Die vorliegende Erfindung erfüllt diese Anforderung und schafft weiter damit in Beziehung stehende Vorteile.

Die vorliegende Erfindung schafft einen einkristallinen Flugzeug-Gasturbinenmantel aus einer gegenüber der Umgebung beständigen Superlegierung, die entlang des Strömungspfadcs keinen gegen Oxidation und Korrosion schützenden Überzug erfordert, um eine annehmbare Betriebslebensdauer zu erzielen. Ohne einen solchen Überzug sind die Herstellungskosten des Mantels geringer. Ein zufriedenstellender Betrieb ohne einen Überzug hat auch den wichtigen Nutzen, daß die Lebensdauer des Triebwerkes im Falle von Kratzern oder anderen Beschädigungen, die während des Betriebes des Triebwerkes am Mantel auftreten und den Überzug durchdringen und eine Stelle für den Beginn von Fehlern aufgrund des Einflusses der Umgebung schaffen, nicht vermindert wird.

Gemäß der Erfindung umfaßt ein einkristalliner Gegenstand zur Verwendung in einem Gasturbinentriebwerk ein Mantelsegment mit ausgezeichneter Beständigkeit gegenüber der Umgebung und hervorragenden Eigenschaften bei hoher Temperatur, die den ausgedehnten Gebrauch bei Temperaturen von 1150°C und darüber gestatten. Das Mantelsegment hat vorzugsweise eine Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 5 bis etwa 10 Chrom, etwa 5 bis etwa 10 Kobalt, 0 bis etwa 2 Molybdän, etwa 3 bis etwa 10 Wolfram, etwa 3 bis etwa 8 Tantal, 0 bis etwa 2 Titan, etwa 5 bis etwa 7 Aluminium, 0 bis etwa 6 Rhenium, 0 bis etwa 0,5 Hafnium, 0 bis etwa 0,07 Kohlenstoff, 0 bis etwa 0,015 Bor und 0 bis etwa 0,075 Yttrium, Rest Nickel. Das Mantelsegment hat ein im wesentlichen einkristallines Gefüge. Den Mantel kann man im gegossenen Zustand oder im lösungsgelöhten und gealterten Zustand benutzen. Der Mantel bedarf für seinen Einsatz keines Oxidations- und Korrosions-beständigen Überzuges im Bereich des Strömungspfadcs, um eine annehmbare Betriebslebensdauer zu gewährleisten.

In einer bevorzugteren Ausführungsform umfaßt ein einkristalliner Gegenstand zum Einsatz in einem Gasturbinentriebwerk ein Mantelsegment mit einer Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 6,75 bis etwa 7,25 Chrom, etwa 7,0 bis etwa 8,0 Kobalt, etwa 1,3 bis etwa 1,7 Molybdän, etwa 4,75 bis etwa 5,25 Wolfram, etwa 6,3 bis etwa 6,7 Tantal, 0 bis etwa 0,02 Titan, etwa 6,1 bis 6,3

Aluminium, etwa 2,75 bis etwa 3,25 Rhenium, etwa 0,12 bis etwa 0,18 Hafnium, etwa 0,04 bis etwa 0,06 Kohlenstoff, etwa 0,003 bis etwa 0,005 Bor, etwa 0,002 bis etwa 0,03 Yttrium, Rest Nickel, wobei das Mantelsegment ein im wesentlichen einkristallines Gefüge aufweist.

Diese Mantelkonstruktion stellt einen Fortschritt auf dem Gebiet der Gasturbinen-Komponenten dar, die höhere Temperaturen gestattet, was zu einer verbesserten Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit des Triebwerkes führt. Das Weglassen von MCrAlY -Überzügen führt zu geringeren Kosten aufgrund einer geringeren Zahl von Herstellungsschritten. Die ausgezeichnete Beständigkeit des Mantels nach der vorliegenden Erfindung gegenüber der Umgebung führt zu einer längeren Lebensdauer aufgrund einer Abnahme der Beschädigung durch Korrosion und Oxidation. Die einkristalline Ausführung führt zu verbesserten mechanischen Eigenschaften, im besonderen zu verbessertem Spannungsbruch und verbesserter thermischer Ermüdung. Andere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die Zeichnung, in der zeigen

Fig. 1 eine perspektivische Schnittansicht einer Hochdruckstufe eines Gasturbinentriebwerkes, die die Struktur und Anordnung des Mantels veranschaulicht und

Fig. 2 eine vergrößerte perspektivische Ansicht eines Mantelabschnittes.

Fig. 1 veranschaulicht Struktur und Anordnung eines Mantels 10 in der Hochdruckstufe 12 eines Gasturbinentriebwerkes. Eine Turbinenscheibe 14 hat eine allgemein zylindrische Gestalt und ist auf einer Welle 16 montiert, die die Rotation der Scheibe 14 um ihre zylindrische Achse gestattet. Eine Vielzahl von Turbinenschaufeln 18 ist auf der Peripherie der Turbinenscheibe 14 montiert, so daß sich diese Schaufeln entlang einem allgemein kreisförmigen Pfad um den Umfang der Scheibe 14 herum bewegen, wenn diese rotiert.

Der Mantel 10 ist ein allgemein zylindrisches Gehäuse, dessen innerster Punkt einen Abstand von der Welle 16 hat, der größer ist als der Abstand des äußersten Punktes der Turbinenschaufeln 18, wobei der Unterschied einen relativ geringen Betrag ausmacht. Beim Betrieb des Triebwerkes strömen heiße Verbrennungsgase entlang einem nicht dargestellten Gaspfad durch die Hochdruckstufe vom Brenner zum Auslaß des Triebwerkes. Der Mantel begrenzt den Gaspfad, so daß der größte Teil des Gases den Pfad passieren muß, durch den sich auch die Turbinenschaufeln 18 bewegen, und das Gas diese Schaufeln nicht umgehen kann.

Der Mantel 10 besteht aus einer Vielzahl von Mantelsegmenten 22, wie sie in Fig. 2 dargestellt sind. Jedes Segment 22 besteht aus einer Vorderkantenseite 26, die der Vorderkante der Turbinenschaufeln entspricht, einer rückwärtigen Kantenseite 28, die der rückwärtigen Kante der Turbinenschaufeln entspricht, und Endstücken 30, wobei Öffnungen 42 sich von der rückwärtigen Fläche 34 zur Strömungspfadfläche 36 durch die Segmente 32 erstrecken. Die Verbrennungsgase strömen über die Strömungspfadfläche 36, um die Turbinenschaufeln in einer Richtung von der Leitkantenseite 26 zur rückwärtigen Kantenseite 28 zu drehen. Jedes Segment 22 bildet nur einen Teil des Gesamtumfanges der Mantelstruktur. Die Mantelsegmente 22 werden auf einer nicht dargestellten Bahn zusammengebaut, wozu man integrale Bahn-Eingriffseinrichtungen 40 benutzt, die maschinell oder durch Gießen in das Mantelsegment

22 eingearbeitet sind und in den Mantelenden 30 enden, an denen Mantelsegmente 22 miteinander verbunden sind.

Jedes Mantelsegment 22 ist als im wesentlichen einkristalline Komponente ausgebildet. Im Sinne der vorliegenden Anmeldung bedeutet "einkristalline Komponente" eine Komponente, die durchgehend vorwiegend eine einkristalline Orientierung aufweist. Die Anwesenheit von Korngrenzen mit geringem Winkel, geringer Anteile von Körnern unterschiedlicher Orientierungen und andere Arten von Fehlern sind beim Gebrauch des Mantels annehmbar, und ihre Anwesenheit führt eine solche Komponente nicht aus dem Charakterisierungsbereich als einkristallin heraus. Obwohl die Herstellung gegossener einkristalliner Komponenten für den Einsatz in Gasturbinen bekannt ist, ist der Einsatz eines einkristallinen Mantels neu.

Es gibt zwei üblicherweise durchgeführte Prozeduren zur Herstellung einkristalliner Komponenten, wie des einkristallinen Mantelsegments. Bei der Saatkristall-Technik läßt man einen orientierten Saatkristall durch gerichtetes Fortschreiten der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Festkörper in die flüssige Superlegierung wachsen. Bei der Drosseltechnik wird die Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Festkörper gerichtet durch einen Labyrinthdurchgang in einer Form bewegt, so daß sich die rascheste Wachstumsorientierung, $(001)_{\text{fcc}}$ (fcc = kubisch raumzentriert), als die dominierende Wachstumsrichtung ausbildet. Jede andere Technik, die einen einkristallinen Gegenstand erzeugt, ist ebenfalls annehmbar.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt ein einkristalliner Gegenstand zur Verwendung in einem Gasturbinentriebwerk ein Mantelsegment mit einer Zusammensetzung in Gew.-% von etwa 6,75 bis etwa 7,25 Chrom, etwa 7,0 bis etwa 8,0 Kobalt, etwa 1,3 bis etwa 1,7 Molybdän, etwa 4,75 bis etwa 5,25 Wolfram, etwa 6,3 bis etwa 6,7 Tantal, 0 bis etwa 0,02 Titan, etwa 6,1 bis 6,3 Aluminium, etwa 2,75 bis etwa 3,25 Rhenium, etwa 0,12 bis etwa 0,18 Hafnium, etwa 0,04 bis etwa 0,06 Kohlenstoff, etwa 0,003 bis etwa 0,005 Bor, etwa 0,002 bis etwa 0,003 Yttrium, Rest Nickel, wobei das Mantelsegment ein im wesentlichen einkristallines Gefüge aufweist. Der Mantel ist eine gegossene Struktur, doch kann er auch im lösungsgeglühten und gealterten Zustand benutzt werden.

Die benutzte Superlegierung ist eine Gamma/Gamma'-Legierung, die als einkristalliner Mantel gegossen und in diesem Zustand benutzt werden kann. Die Gamma-Phase ist eine mischkristall-gehärtete, kubisch flächenzentrierte Phase, und die Gamma'-Phase ist eine intermetallische Phase mit der allgemeinen Zusammensetzung Ni_3Al , die auch mischkristall-gehärtet und gealtert sein kann, um mechanische Eigenschaften zu erzielen, die besser sind als die im gegossenen Zustand. Um die besseren mechanischen Eigenschaften der wahlweise lösungsgehärteten und gealterten Struktur zu erreichen, wird der Mantel zuerst bei hoher Temperatur einer Lösungs-Wärmebehandlung unterworfen und dann gealtert, um eine Verteilung der Gamma'-Phase zu erzeugen. Die Wärmebehandlung ist eine Lösungsbehandlung bei einer Temperatur und für eine Zeit, die ausreichen, mindestens etwa 95% der Gamma'-Phase in Lösung zu bringen, gefolgt von einer Zwischen-Alterungsbehandlung und einer End-Alterungsbehandlung. Eine brauchbare Wärmebehandlung besteht aus einem Lösungsglühen bei etwa 1290 bis etwa 1315°C für 2 Stunden (bei einem etwa 12 mm dicken Stück) Abküh-

len auf etwa 1095°C mit etwa 55°C/min, weiterem Abkühlen auf etwa 650°C in 60 min oder weniger, einer Zwischenalterung bei etwa 1080°C für 4 Stunden, Abkühlen auf unter 650°C in 6 Minuten oder weniger und einer abschließenden Alterung bei etwa 900°C für 16 Stunden. Das aufgrund dieser Wärmebehandlung entstehende Gefüge besteht aus einem Duplex-Gefüge großer und kleiner Gamma'-Teilchen in einer Gamma-Matrix, wobei die Gamma'-Teilchen etwa 60% und die Gamma-Matrix etwa 40% des Volumens einnehmen.

Die besonderen Legierungselemente in der Superlegierungs-Zusammensetzung, die für den Mantel benutzt wird, und deren Mengen und Grenzen wurden im Hinblick auf ihre Eigenschaften in Kombination ausgewählt. Dies heißt, daß die Anwesenheit und Menge jedes Elementes im Hinblick auf die Wirkung auf die anderen Legierungselemente in der Superlegierung ausgewählt wurde. Die Eigenschaften schließen die Festigkeit und den Kriechbruch bzw. die Standfestigkeit der Legierung und der einzelnen Phasen ein, die Beständigkeit der Legierung gegenüber der Bildung von Instabilitäten, wie spröden Phasen, während sie erhöhter Temperatur ausgesetzt ist sowie die Beständigkeit der Legierung gegenüber Beschädigung durch Oxidation und Hitze Korrosion durch die Umwelt.

Der Chromgehalt der Legierung liegt im Bereich von etwa 5 bis etwa 10 Gew.-%, vorzugsweise von etwa 6,75 bis etwa 7,25 Gew.-% und am bevorzugtesten bei etwa 7 Gew.-%. Chrom gibt eine Beständigkeit gegenüber Beschädigung durch Hitze Korrosion und Oxidation. Ist die Chrommenge zu gering, dann fällt die Beständigkeit gegen Hitze Korrosion auf ein unannehmbar geringes Niveau. Wird der Chromgehalt über die angegebene Grenze hinaus erhöht, dann trägt er zur Bildung einer unerwünschten spröden topologisch dicht gepackten Phase (TCP) während des Betriebes bei erhöhter Temperatur bei.

Der Kobaltgehalt liegt im Bereich von etwa 5 bis etwa 10 Gew.-%, vorzugsweise von etwa 7,0 bis etwa 8,0 Gew.-% und am bevorzugtesten bei etwa 7,5 Gew.-%. Kobalt unterstützt die Stabilisierung der Legierung gegen die Bildung der TCP-Phase während eines ausgedehnten Betriebes bei erhöhter Temperatur, und es verbessert die Gießbarkeit während der Herstellung des Gegenstandes. Ist der Kobaltgehalt zu gering, dann wird die Stabilität gegen TCP-Bildung unannehmbar vermindert. Ist der Kobaltgehalt dagegen zu hoch, dann ist die Bruchfestigkeit der Legierung vermindert.

Der Molybdängehalt liegt im Bereich von 0 bis etwa 2 Gew.-%, vorzugsweise von 1,3 bis etwa 1,7 Gew.-% und am bevorzugtesten bei etwa 1,5 Gew.-%. Molybdän trägt zur Mischkristallhärtung der Gamma-Phase bei. Seine Wirkung ist nicht so stark, und deshalb werden geringe Mengen benutzt. Zuviel Molybdän vermindert die Oxidationsbeständigkeit der Legierung.

Der Wolframgehalt liegt im Bereich von etwa 3 bis etwa 10 Gew.-%, vorzugsweise von etwa 4,75 bis etwa 5,25 Gew.-% und am bevorzugtesten bei etwa 5,0 Gew.-%. Wolfram teilt sich nahezu gleichermaßen auf die Gamma- und die Gamma'-Phasen auf und härtet jede Phase durch Mischkristallbildung. Wolfram ist sehr schwer und erhöht die Dichte der Legierung. Ist der Wolframgehalt zu gering, dann ist die Festigkeit der Legierung ungenügend. Im besonderen kann die Festigkeit der Gamma-Phase zu gering sein. Ein zu hoher Wolframgehalt erhöht die Dichte unannehmbar und vermindert auch die Beständigkeit der Legierung gegenüber Oxidation und Hitze Korrosion.

Der Tantalgehalt liegt im Bereich von etwa 3 bis etwa 8 Gew.-%, vorzugsweise von etwa 6,3 bis etwa 6,7 Gew.-% und am bevorzugtesten bei etwa 6,5 Gew.-%. Tantal ist ein die Gamma'-Phase härtendes Element, und es sorgt auch für eine Beständigkeit gegen Hitzerrisse und Fleckenbildung auf Gußkörpern. Ist der Tantalgehalt zu gering, dann ist die Festigkeit der Legierung zu gering. Ist der Tantalgehalt zu hoch, dann gibt es eine erhöhte Neigung zur Bildung der TCP-Phase, wenn die Legierung für eine ausgedehnte Zeitdauer erhöhten Temperaturen ausgesetzt ist.

Der Aluminiumgehalt liegt im Bereich von etwa 5 bis etwa 7 Gew.-%, vorzugsweise von etwa 6,1 bis 6,3 Gew.-% und am bevorzugtesten bei 6,2 Gew.-%. Aluminium ist das hauptsächlichste Legierungselement bei der Bildung der Gamma'-Phase, und es trägt auch zur Oxidationsbeständigkeit bei, indem es oberflächliche Aluminiumoxide bildet. Ist der Aluminiumgehalt zu gering, dann gibt es einen ungenügenden Volumenanteil an Gamma'-Phase, um eine gute Festigkeit und eine gute Beständigkeit gegen Kriechbruch zu erzielen und auch die Oxidationsbeständigkeit der Legierung ist gering. Ist der Aluminiumgehalt zu hoch, dann gibt es eine erhöhte Neigung zur Bildung der spröden TCP-Phase während eines längeren Aussetzens gegenüber erhöhten Temperaturen.

Der Titangehalt liegt im Bereich von 0 bis etwa 2 Gew.-%, vorzugsweise maximal 0,02 Gew.-% und am bevorzugtesten ist kein Titan in der Legierung vorhanden. Ist Titan vorhanden, so kann es teilweise das Aluminium in der Gamma'-Phase ersetzen, so daß die $\text{Ni}_3(\text{Al,Ti})$ -Phase resultiert. Titan ist ein Element mit geringem Schmelzpunkt, und es neigt zur Verminderung des Schmelzpunktes der Superlegierung. Seine Anwesenheit ist auch nachteilig für die Oxidationsbeständigkeit. Der Titangehalt wird daher so gering als möglich und vorzugsweise bei null gehalten.

Der Rheniumgehalt liegt im Bereich von 0 bis etwa 6 Gew.-%, vorzugsweise von etwa 2,75 bis etwa 3,25 Gew.-% und am bevorzugtesten bei etwa 3,0 Gew.-%. Rhenium, das relativ dicht ist, ist ein potentes Element zur Mischkristallhärtung der Gamma-Phase und es ist auch wichtig bei der Erzielung einer Festigkeit der Legierung bei hohen Temperaturen. Ein geringer Rheniumgehalt ist als Ersatz für andere, weniger potente Elemente zur Mischkristallhärtung, wie Molybdän und Chrom, eingesetzt worden. Ist der Rheniumgehalt zu gering in bezug zu den ausgewählten Gehalten der anderen Elemente, dann ist die Festigkeit der Legierung zu gering. Ist der Rheniumgehalt zu hoch, dann gibt es eine erhöhte Neigung zur Bildung der TCP-Phase während einem längeren Aussetzen gegenüber hohen Temperaturen.

Hafnium, Kohlenstoff und Bor sind Korngrenzen härtende Elemente. Es war üblich, sie vollständig aus einkristallinen Legierungen wegzulassen. Sie sind in der erfindungsgemäß eingesetzten Legierung jedoch in relativ geringen Mengen vorhanden, um die Härtung der Subkorngrenzen zu fördern, die häufig vorhanden sind, selbst in Gegenständen, die nominell Einkristalle sind. Werden diese Elemente aus der Legierung weggelassen, dann sind Subkorngrenzen mit Grenz-Fehlorientierungen von mehr als 6° in einem Gegenstand unannehmbar, und die Gegenstände mit solchen Korngrenzen größerer Winkel werden normalerweise verworfen. Das Vorhandensein einer geringen Menge dieser Korngrenzen härtenden Elemente gibt diesen Grenzen genügend Festigkeit, so daß Gegenstände mit Subkorngrenzen

von bis zu 12° Fehlorientierung akzeptabel sind. Diese Elemente erhöhen daher den Prozentsatz akzeptabler gegossener Gegenstände durch Vermindern des Prozentsatzes, der wegen der Anwesenheit von Korngrenzen mit großem Winkel verworfen werden muß. Jedes dieser Elemente wirkt jedoch senkend auf den Schmelzpunkt der Legierung und die Gamma'-Solvustemperatur (unter "Solvus" versteht man eine Kurve auf einem Temperatur/Zusammensetzungs-Zustandsdiagramm, das die Grenzen der Löslichkeit einer festen Phase in einer anderen angibt). Zuviel von Hafnium, Kohlenstoff oder Bor vermindert diese Temperaturen in einem unannehmbaren Maß.

Der Yttriumgehalt beträgt 0 bis etwa 0,075 Gew.-%, vorzugsweise von etwa 0,002 bis etwa 0,030%, am bevorzugtesten etwa 0,01 Gew.-%. Yttrium fördert die Oxidationsbeständigkeit. Zuviel Yttrium verursacht eine Reaktion der Superlegierung mit üblichen Siliziumdioxid- und Zirkoniumdioxid-Keramik-Gießformen und erfordert den Einsatz von Gießformen aus Aluminiumoxid.

Die bevorzugteste Legierung der Erfindung wurde vergleichsweise in verschiedenen Testarten und beim tatsächlichen Gasturbinenbetrieb ausgewertet. Die folgenden Beispiele sollen Aspekte der Erfindung veranschaulichen, nicht aber als deren Beschränkung in irgendeiner Hinsicht dienen.

Beispiel 1

Es wurden Proben in ein Brennergestell der Machzahl 1 bei Abmessungsverminderung in 0,025 mm pro Fläche nach 200 Stunden ausgewertet. Drei Proben der bevorzugten Legierung der Erfindung erfuhren Verminderungen von etwa 0,015 bis 0,025 mm. Drei Proben von Mar M-509, überzogen mit üblichem (Ni,Co)CrAlY, verloren 0,025 bis 0,043 mm pro Fläche. Drei Proben von gerichtet erstarrter Rene 142 hatten Verluste von 0,013 bis 0,028 mm pro Fläche. Drei Proben von konventionell gegossenem Rene 142 hatten Verluste von etwa 0,005 bis etwa 0,01 mm pro Fläche. Eine Probe Hastelloy X wies einen Verlust von etwa 1,13 mm pro Fläche auf. Eine Probe aus nicht überzogenem Mar M-509 wurde bei 1150°C getestet und die Ergebnisse auf 1175°C und 200 Stunden extrapoliert. Die Extrapolation ergab einen Verlust von etwa 2,5 mm pro Fläche.

Die Legierung nach der Erfindung hat einen annehmbar geringen Oxidationsverlust, verglichen mit dem verschiedener anderer Materialien und sehr viel weniger als bei nicht überzogenem Mar M-509.

Beispiel 2

Es wurden Proben in thermischen Ermüdungszyklen getestet. Jeder Zyklus schloß ein Erhitzen von etwa 425°C zu einer Maximaltemperatur in 8 Sekunden, das 48 Sekunden lange Halten bei der Maximaltemperatur, das Abkühlen auf 650°C in 8 Sekunden und das weitere Abkühlen auf etwa 425°C in 8 Sekunden ein. Jede Probe wurde bei Maximaltemperaturen von etwa 1065°C, etwa 1095°C, etwa 1120°C, etwa 1150°C, etwa 1175°C und etwa 1190°C jeweils 1000 Zyklen ausgesetzt, wobei insgesamt 6000 Zyklen pro Probe stattfanden.

Die mikroskopische Auswertung der Proben zeigte, daß die bevorzugte Legierung der Erfindung sowie die Legierung Mar M-509, die mit einem (Ni,Co)CrAlY-Überzug versehen waren, keine Ribbildung zeigten und eine ausgezeichnete Oxidationsbeständigkeit aufwiesen.

Gerichtet erstarrte Rene 142 zeigte einige Risse und wies einen deutlichen oxidationsbedingten Lochfraß sowie Oberflächenausschläge auf. Konventionell gegossene Rene 142 zeigte Kantenrisse nach tausend Zyklen bei etwa 1065°C, der mildesten Beanspruchung, und daß sich die Risse bei nachfolgenden Zyklen ausbreiteten. Die Oberfläche wies eine ausgedehnte Oxidationsbeschädigung auf.

Das Testen der Beispiele 1 und 2 führte zu dem Schluß, daß die nicht überzogene bevorzugte Legierung der Erfindung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit vergleichbar war mit einem derzeit benutzten System aus Mar M-509 mit einem (Ni,Co)CrAlY-Überzug. Nicht überzogene Mar M-509 oxidiert rasch. Die Legierung der vorliegenden Erfindung hat daher den wichtigen Vorteil einer mit Mar M-509 vergleichbaren Leistungsfähigkeit ohne die Gefahr der Beeinträchtigung der Eigenschaften, wenn ein Teil des Überzuges durch Abspalten, Risse oder in anderer Weise verloren geht oder beschädigt wird. Die Rene 142 hatte unannehmbare thermische Ermüdungszyklen. Das Oxidationsverhalten von Rene 142 hängt auch von der genauen Kontrolle des Yttriumgehaltes ab, was bei einer Massenherstellung schwierig sein mag.

Beispiel 3

Ein Hochdruck-Turbinenmantel für eine F110 Flugzeug-Gasturbine wurde aus abwechselnden Segmenten der bevorzugten Legierung der Erfindung und aus mit (Ni,Co)CrAlY-überzogener Mar M-509, den nach den Testergebnissen der Beispiele 1 und 2 beiden besten Materialien, konstruiert. Man ließ das Triebwerk 166 Stunden in Evendale, Ohio, arbeiten. Nach vollständigem Testlauf wurde das Triebwerk auseinandergebaut und die Mantelsegmente wurden untersucht.

Die Mantelsegmente der Legierung der Erfindung wiesen weniger Kantenrisse auf als die überzogenen Mar M-509-Mantelsegmente. In einem Bereich hinter einer schlechten Brennerdüse war das überzogene Mar M-509-Mantelsegment stark verbrannt, während der Mantel nach der vorliegenden Erfindung in der gegossenen Form deutlich weniger beschädigt war, was zeigt, daß der erfindungsgemäße Mantel eine Verbesserung der Temperatureigenschaften von mindestens etwa 40°C gegenüber Mar M-509 aufwies. In keinem der Mäntel wurde Hitzekorrosion beobachtet.

Beispiel 4

Beispiel 3 wurde wiederholt mit einer CF6-Flugzeug-Gasturbine mit der Ausnahme, daß die Strömungspfadfläche der Mantelsegmente der Legierung der Erfindung nicht überzogen wurde, während man alle anderen Oberflächen mit einem Aluminidüberzug nach dem CODEP-Verfahren der US-PSen 34 15 672 und 35 40 878 versehen hatte. Das Triebwerk wurde in einer Umgebung etwa 1 Kilometer vom Ozean entfernt und in einem Bereich potentieller hoher industrieller Verunreinigung betrieben. Der Betrieb erfolgte für 700 Stunden und umfaßte 2750 Zyklen, woraufhin das Triebwerk zur Inspektion und Messung auseinandergenommen wurde.

Die Mantelsegmente der vorliegenden Erfindung wiesen Metallverluste auf den Strömungspfadflächen von etwa 0,050 bis etwa 0,075 mm und auf den rückwärtigen Flächen von 0 bis etwa 0,1 mm auf. Geringe Mengen von Hitzekorrosion wurden auf den Strömungspfadflächen der Mäntel nach der Erfindung bemerkt.

und der kombinierte Metallverlust für Oxidation und Hitzekorrosion betrug etwa 0,025 bis etwa 0,2 mm. Die überzogenen Mar M-509-Mantelsegmente wiesen schwere Metallverluste durch Oxidation auf den Strömungspfadflächen von etwa 0,2 bis etwa 0,4 mm und auf den rückwärtigen Flächen von 0 bis etwa 0,15 mm auf. Die Kühllöcher oder -öffnungen der Mantelsegmente der vorliegenden Erfindung zeigten geringfügige Beschädigung, während die bei dem Mantel aus überzogener Mar M-509 etwas stärkere Beschädigungen zeigten. Der nicht überzogene Mantel der vorliegenden Erfindung bringt daher eine deutlich verbesserte Leistungsfähigkeit, selbst verglichen mit einem Mantelsystem aus anderen gegenwärtigen Legierungen, wie Mar M-509, das mit einem Überzug auf der Strömungspfadfläche versehen ist.

Die Tests des Beispiels 3 zeigten, daß die Mantelsegmente der vorliegenden Erfindung mit einem nicht überzogenen Strömungspfad eine bessere Leistungsfähigkeit aufwiesen als die Mantelsegmente aus überzogener Mar M-509, wenn der Betrieb in einer nicht korrosiven Umgebung erfolgt. Die Tests des Beispiels 4 zeigten, daß der nicht überzogene Strömungspfad der Mantelsegmente der vorliegenden Erfindung eine bessere Leistungsfähigkeit als der aus überzogener Mar M-509 in einer korrodierenden Umgebung aufweist. In korrodierenden Umgebungen zeigen die Testergebnisse jedoch, daß es erforderlich ist, Öffnungen oder Kühllöcher mit Aluminidüberzügen zu versehen, wie nach dem CODEP-Verfahren, um die volle mögliche Verbesserung hinsichtlich der Temperatur zu erzielen, deren die Mantelsegmente der vorliegenden Erfindung fähig sind. Die nicht überzogene Legierung nach der Erfindung weist Hitzekorrosion in Kühllöchern auf, wo solche vorhanden, insbesondere wenn der Betrieb in einer korrosiven Umgebung erfolgt.

Die vorliegende Erfindung schafft somit ein Material zum Einsatz bei nicht überzogenen Gasturbinentriebwerk-Mänteln, die genauso gut oder besser arbeiten als die üblichen überzogenen Legierungen. Ein Schutzüberzug in den Öffnungen 42 oder Kühllöchern, den Seiten 26, 28 und den Enden 30 wird vorzugsweise auf die Mäntel der vorliegenden Erfindung aufgebracht, nicht aber auf die Strömungspfadflächen. Obwohl die Erfindung im Zusammenhang mit spezifischen Beispielen und Ausführungsformen beschrieben worden ist, sollte dem Fachmann doch klar sein, daß die Erfindung modifiziert werden kann, ohne daß man den Rahmen der vorliegenden Erfindung, wie er sich aus den Ansprüchen ergibt, verläßt.

Patentansprüche

1. Gegenüber der Umgebung beständiges Gußteil zum Einsatz in einem Gasturbinentriebwerk, umfassend ein Mantelsegment mit einer Zusammensetzung in Gewichts-% von etwa 5 bis etwa 10 Chrom, etwa 5 bis etwa 10 Kobalt, 0 bis etwa 2 Molybdän, etwa 3 bis etwa 10 Wolfram, etwa 3 bis etwa 8 Tantal, 0 bis etwa 2 Titan, etwa 5 bis etwa 7 Aluminium, 0 bis etwa 6 Rhenium, 0 bis etwa 0,5 Hafnium, 0 bis etwa 0,07 Kohlenstoff, 0 bis etwa 0,015 Bor, 0 bis etwa 0,075 Yttrium, Rest Nickel, wobei das Mantelsegment ein im wesentlichen einkristallines Gefüge aufweist.
2. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, bei dem der gegossene Mantel lösungsgeglüht und gealtert ist.

3. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Chrom in einer Menge von etwa 6,75 bis etwa 7,25 Gewichts-% vorhanden ist.
4. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Kobalt in einer Menge von etwa 7,0 bis etwa 8,0 Gewichts-% vorhanden ist.
5. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Molybdän in einer Menge von 1,3 bis etwa 1,7 Gewichts-% vorhanden ist.
6. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Wolfram in einer Menge von etwa 4,75 bis etwa 5,25 Gewichts-% vorhanden ist.
7. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Tantal in einer Menge von etwa 6,3 bis etwa 7 Gewichts-% vorhanden ist.
8. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Titan in einer Menge von 0 bis etwa 0,02 Gewichts-% vorhanden ist.
9. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Aluminium in einer Menge von etwa 6,1 bis etwa 6,3 Gewichts-% vorhanden ist.
10. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Rhenium in einer Menge von etwa 2,75 bis etwa 3,25 Gewichts-% vorhanden ist.
11. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Hafnium in einer Menge von etwa 0,12 bis etwa 0,18 Gewichts-% vorhanden ist.
12. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Kohlenstoff in einer Menge von etwa 0,04 bis etwa 0,06 Gewichts-% vorhanden ist.
13. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Bor in einer Menge von etwa 0,003 bis etwa 0,005 Gewichts-% vorhanden ist.
14. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin Yttrium in einer Menge von etwa 0,002 bis etwa 0,030 Gewichts-% vorhanden ist.
15. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 1, worin die Strömungspfadfläche des Mantels keinen gegen Oxidation und Korrosion beständigen Überzug aufweist.
16. Gegenüber der Umgebung beständiges Gußteil zum Einsatz in einem Gasturbinentriebwerk umfassend ein Mantelsegment mit einer Zusammensetzung in Gewichts-% von etwa 6,75 bis etwa 7,25 Chrom, etwa 7,0 bis 8,0 Kobalt, etwa 1,3 bis etwa 1,7 Molybdän, etwa 4,75 bis etwa 5,25 Wolfram, etwa 6,3 bis etwa 6,7 Tantal, 0 bis etwa 0,02 Titan, etwa 6,1 bis etwa 6,3 Aluminium, etwa 2,75 bis etwa 3,25 Rhenium, etwa 0,12 bis etwa 0,18 Hafnium, etwa 0,04 bis etwa 0,06 Kohlenstoff, etwa 0,003 bis etwa 0,005 Bor, etwa 0,002 bis etwa 0,03 Yttrium, Rest Nickel, wobei das Mantelsegment ein im wesentlichen einkristallines Gefüge aufweist.
17. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 16, worin der gegossene Mantel lösungsgeglüht und gealtert ist.
18. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 16, worin die Strömungspfadfläche des Mantels keinen gegen Oxidation und Korrosion beständigen Überzug aufweist.
19. Gegenüber der Umgebung beständiges Gußteil zum Einsatz in einem Gasturbinentriebwerk, umfassend ein Mantelsegment mit einer Zusammensetzung in Gewichts-% von etwa 7 Chrom, etwa 7,5 Kobalt, etwa 1,5 Molybdän, etwa 5 Wolfram, etwa 6,5 Tantal, kein Titan, etwa 6,2 Aluminium, etwa 3 Rhenium, etwa 0,15 Hafnium, etwa 0,05 Kohlenstoff, etwa 0,004 Bor, etwa 0,01 Yttrium, Rest Nickel.

kel, wobei das Mantelsegment ein im wesentlichen einkristallines Gefüge aufweist.

20. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 19, worin der gegossene Mantel lösungsgeglüht und gealtert ist.

21. Einkristalliner Mantel nach Anspruch 19, worin die Strömungspfadfläche des Mantels keinen gegen Oxidation und Korrosion beständigen Überzug aufweist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

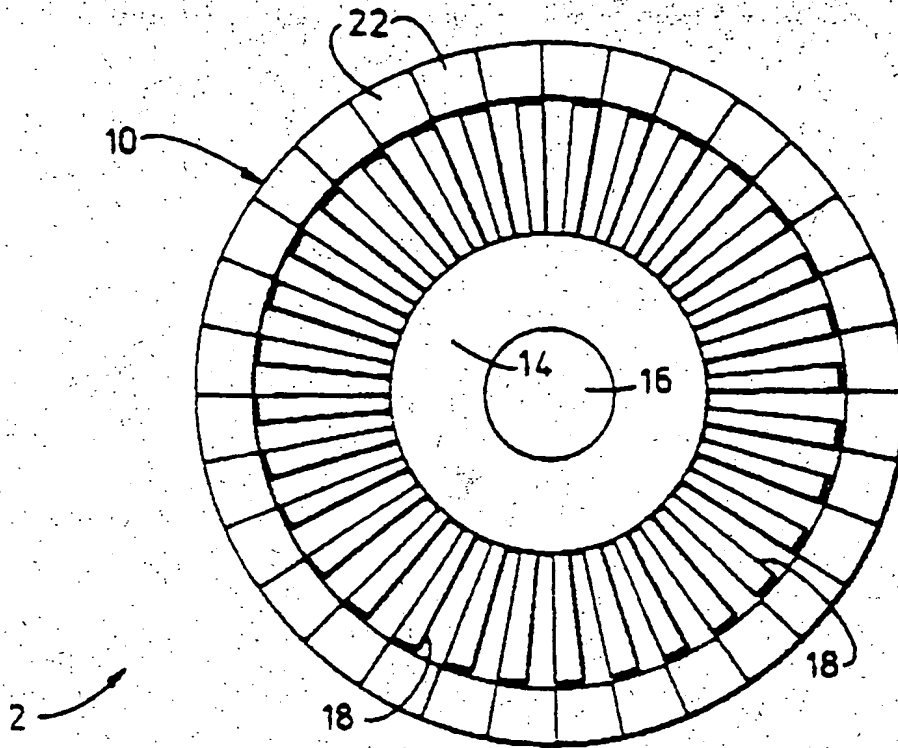


FIG. 1

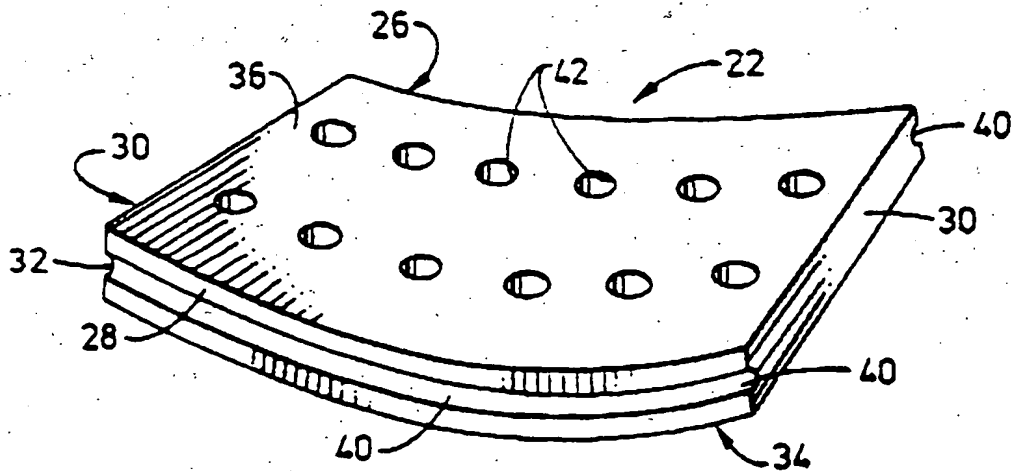


FIG. 2